



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**
(10) **DE 196 00 252 A 1**

(51) Int. Cl.⁶:
B 60 K 6/02
F 01 N 5/00
F 02 B 41/10

(71) Anmelder:
Deppe, Volker, Dipl.-Ing. Ing.(grad.), 50737 Köln, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

(54) Verfahren zur Verbesserung des Gesamtwirkungsgrads beim Hybridantrieb mit Verbrennungs- und Elektromotor als Antriebsquellen

DE 196 00 252 A 1

DE 196 00 252 A 1

Beschreibung

(1) Wirtschaftliche und ökologische Gründe legen dringend nahe, den Einsatz von Energie restriktiv zu handhaben. Eine wesentliche Möglichkeit in diesem Sinne vorzugehen ist, den Wirkungsgrad bei Energieumsetzungsprozessen zu verbessern.

(2) Beim Betrieb des Verbrennungsmotors wird ein beträchtlicher Anteil der zugeführten Energie systembedingt über die Abgase abgeführt. Bekanntlich dient die Abgasenergie bei der Abgasturboaufladung zur Steigerung der spezifischen Leistung von Verbrennungsmotoren. Diese Technik findet im einschlägigen Motorenbau eine verbreitete Anwendung, führt aber im praktischen Betrieb nicht zu einer wesentlichen Verbesserung des Wirkungsgrads.

(3) Der im Patentanspruch 1 angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, die Abgasenergie des Verbrennungsmotors in Verbindung mit einem geeigneten Antriebssystem so zu nutzen, daß man eine signifikante Steigerung des Wirkungsgrads gegenüber der beim konventionellen Antrieb mit Verbrennungsmotor üblichen Größenordnung hinaus erreicht.

(4) Dieses Problem wird durch das im Patentanspruch 1 aufgezeigte Verfahren gelöst, wobei, ausgehend vom Hybridantrieb mit Verbrennungs- und Elektromotor als Antriebsquellen, ein Abgasturbogenerator, der das Kernstück des Verfahrens bildet, die beim Betrieb des Verbrennungsmotors anfallende Abgasenergie verlustbehaftet in elektrische Energie umwandelt. Die rückgewonnene Energie wird über den Elektromotor für den Gesamtantrieb genutzt, so daß eine signifikant bessere Ausnutzung der zugeführten Energie und damit die angestrebte Verbesserung des Gesamtwirkungsgrads gegeben ist.

(5) Die Erfindung bietet insbesondere den Vorteil, daß ein entsprechend konzipiertes Antriebssystem bei der Energieumsetzung von Wärme in mechanische Arbeit, durch die Erschließung eines zusätzlich nutzbaren Energiepotentials, eine wesentliche Steigerung des Gesamtwirkungsgrads erfährt. Die folgende auf die Nennwerte bezogene qualitative Überschlagsrechnung (siehe (6)–(14)) soll die Größenordnung der Wirkungsgradverbesserung abschätzen.

(6) Für den thermischen Wirkungsgrad des Gleichraumprozesses (Vergleichsprozeß für Kolbenmotoren) gilt:

$$(Q_{zu} - Q_{ab})/Q_{zu} = 1 - E^{(1-K)} \quad E \triangleq \text{Epsilon}, \quad K \triangleq \text{Kappa}$$

Mit $E = 10$ und $K = 1,4$ beträgt die von den Abgasen abgeführte Energie Q_{ab} :

$$Q_{ab} = 0,40Q_{zu}$$

(7) Beim Gleichraumprozeß, wie beispielsweise beim Viertaktmotor, gilt für den Ansaugtakt (Index 0) und den Arbeitstakt (Index 1) jeweils bei UT die Zustandsgleichung (isochor):

$$T_1/T_0 = P_1/p_0 \quad \text{Erfahrungswert: } T_1/T_0 = 4,5$$

(8) Die Entspannung der Abgase nach Beendigung

des Arbeitstaktes und nach Öffnung der Auslaßventile beschreibt die Zustandsgleichung (adiabatisch):

$$T_1/T_{01} = P_1/p_0^{(K-1)/K} \quad T_{01} \triangleq \text{Temp. bei abgeschlossener adiabatischer Expansion}$$

(9) Der für die Ab gasturbine theoretisch nutzbare Teil der Abgasenergie ist gegeben durch:

$$Q_{nutz}/Q_{ab} = (T_1 - T_{01})/(T_1 - T_0)$$

Bezüglich eines Saugmotors mit $P_1/p_0 = 4,5$ (siehe (7)) und $K = 1,4$ ergibt sich:

$$T_{01}/T_1 = 0,65; \quad Q_{nutz}/Q_{ab} = 0,45$$

(10) Bezüglich eines Motors mit mechanischer Aufladung, dem Ladedruck $p = 1,8p_0$ und $P_1/1,8p_0 = 4,5$ bzw. $P_1/p_0 = 8,1$ ergibt sich:

$$T_{01}/T_1 = 0,55; \quad Q_{nutz}/Q_{ab} = 0,58$$

(11) Unter diesen Bedingungen erhält man für den Einsatz von Abgasturbogeneratoren ein theoretisches Energierückgewinnungspotential von:

$$Q_{nutz} = 0,45 \cdot 0,40Q_{zu} = 0,18Q_{zu} \quad (\text{Saugmotor})$$

$$Q_{nutz} = 0,58 \cdot 0,40Q_{zu} = 0,23Q_{zu} \quad (\text{mechan. Aufladung})$$

(12) Bei der Umsetzung des theoretisch möglichen Energierückgewinnungspotentials der Abgase in elektrische Energie mit dem Abgasturbogenerator bzw. einer Reihenschaltung von Abgasturbogeneratoren kann ein Wirkungsgrad von $W_{el}/Q_{nutz} = 0,6$ angenommen werden.

(13) Der Energieanteil, welcher in Form von elektrischer Energie zurückgewonnen werden kann, beträgt somit:

$$W_{el} \triangleq 0,60 \cdot 0,18Q_{zu} = 0,11Q_{zu} \quad (\text{Saugmotor})$$

$$W_{el} \triangleq 0,60 \cdot 0,23Q_{zu} = 0,14Q_{zu} \quad (\text{mechan. Aufladung})$$

(14) Legt man beim Viertaktmotor einen effektiven Wirkungsgrad von 35% bzw. $W_{eff} = 0,35Q_{zu}$ zugrunde, so läßt sich mit der angegebenen Erfindung, unter den hier getroffenen Voraussetzungen, eine Steigerung des Wirkungsgrads von annähernd 30% bzw. 40% erzielen.

(15) Die Ausbeute bei der Abgasenergierrückgewinnung ist weiter zu steigern, wenn man bei der Konstruktion von Verbrennungsmotoren im besonderen anstrebt, daß ein größerer Anteil der Verlustenergie über die Abgase abgeführt wird. Dies führt einerseits zu einem größeren Energieanteil, welcher für die Rückgewinnung insgesamt zur Verfügung steht ($Q_{ab} > 0,40Q_{zu}$, siehe (6)), und andererseits wegen der höheren Abgastemperatur T_1 und damit $T_1/T_0 > 4,5$ zu einer Erhöhung des nutzbaren Teils der Abgasenergie (siehe (7)–(9)). Im Zusammenwirken beider Effekte ergibt sich eine überproportionale Steigerung des Energierückgewinnungspotentials (siehe (11)).

(16) Die Ausgestaltung der Erfindung in ihrer Grundform ist der Einbau eines einzigen Abgasturbogenerators in den Abgaskanal mit speziell für die

einstufige Ausführung zugeschnittenen Konstruktionsmerkmalen (Anspruch 2). Die Ausrichtung der Konstruktion auf den speziellen Einsatzbereich gewährleistet die bestmögliche Ausnutzung des Abgasenergiopotentials bei der gegebenen Ausführungsvariante.

(17) An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die Darstellung der Patentansprüche 1—5 sich jeweils auf einen einzigen Abgaskanal bezieht. Liegt mehr als eine Abgasführung vor, wie beispielsweise bei V-Motoren üblich, sind eine entsprechende Anzahl identischer Turbogeneratorkonfigurationen in Parallellanordnung vorzusehen. Dies ist unter Umständen auch deswegen sinnvoll, da kleinere Einheiten bezüglich des Einbaus einfacher zu handhaben sind.

(18) Die zweistufige Ausführung nach Anspruch 3 bietet den Vorteil, daß man die Abgasturbogeneratoren konstruktiv auf den Hoch- bzw. Mitteldruckbereich speziell zuschneiden und damit einen größeren Teil des Abgasenergiopotentials erfassen kann. Dies führt zu einer erheblichen Verbesserung bei der Ausnutzung der Abgasenergie gegenüber der einstufigen Ausführung.

(19) Analoges wie in (18) gilt für die dreistufige Ausführung nach Anspruch 4, wobei nach Hoch-, Mittel- und Niederdruckbereich unterschieden werden kann. Durch das Hinzufügen einer weiteren Stufe gegenüber der zweistufigen Ausführung ist eine weitere Erhöhung des Ausnutzungsgrads gegeben.

(20) In besonderen Fällen ist auch eine Ausführung mit mehr als drei Abgasturbogeneratoren in Reihenschaltung nach Anspruch 5 denkbar. Hiermit kann die Ausschöpfung des theoretisch verfügbaren Energierückgewinnungspotentials in beliebiger Weise optimiert werden.

(21) Der Abgasturbogenerator ist das Kernstück des Verfahrens zur Wirkungsgradverbesserung durch Abgasenergierückgewinnung und damit wichtigste Komponente der Erfindung (Anspruch 6). Die Wärmeenergie der Abgase wird über die Ab gasturbine in mechanische Energie umgewandelt und weiterhin über den Generator in elektrische Energie umgesetzt, zwangsläufig unter Einbeziehung der entsprechenden Verluste (siehe (6)—(14)). Ab gasturbine und Generator werden praktischerweise zu einem Maschinensatz zusammengefaßt. Die Wellenkopplung erfolgt entweder direkt, beispielsweise unter Verwendung einer gemeinsamen starren Welle, oder mittels einer Übersetzung, um die Drehzahl des Generatorläufers zu reduzieren. Prinzipiell kann ein Generator beliebiger Bauart Verwendung finden.

(22) Eine spezielle Ausführungsvariante des Abgasturbogenerators ist im Patentanspruch 7 angegeben. Der Drehstromsynchrongenerator mit permanent magnetisiertem Läufer bietet den Vorteil, für sehr hohe Drehzahlen verwendbar und daher für die hohe Betriebsdrehzahl der Ab gasturbine in besonderer Weise geeignet zu sein. Außerdem kann der elektrotechnische Schaltungsaufwand relativ gering gehalten werden.

(23) Weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten für den Abgasturbogenerator sind im Patentanspruch 8 bzw. 9 unter Verwendung eines Drehstromsynchrongenerators mit geregeltem Läuferstrom bzw. eines Drehstromasynchrongenerators mit geregel-

tem Ständerstrom angegeben. Bei unterschiedlichen Konstruktionsmerkmalen bieten beide Varianten die Möglichkeit, abhängig von den Betriebsverhältnissen, den Abgasturbogenerator über einen weiten Drehzahlbereich geregelt zu fahren.

(24) In den Patentansprüchen 10—12 sind die Betriebsarten angegeben, die im praktischen Betrieb von Hybridsystem und Abgasenergierückgewinnung gewährleisten, daß die rückgewonnene Energie auf besonders günstige Art und Weise genutzt wird, um die Wirkungsgradverbesserung im vollen Umfang zu realisieren.

(25) Im Parallelbetrieb von Verbrennungs- und Elektromotor kann die rückgewonnene Energie unmittelbar über den Elektroantrieb für den Gesamtantrieb genutzt werden (Anspruch 10). Außerdem besteht die Möglichkeit, je nach Betriebszustand, Anteile der anfallenden elektrischen Energie für den späteren Gebrauch in den Akkumulatoren zu speichern bzw. Energie den Antriebsbatterien für die zusätzliche Versorgung des Elektroantriebs zu entnehmen.

(26) Als weitere Betriebsarten kann man einerseits den Einzelbetrieb mit Verbrennungsmotor, wobei die rückgewonnene Energie für den späteren Gebrauch zwischengespeichert wird (Anspruch 11), und andererseits den Einzelbetrieb mit Elektromotor, wobei die zuvor rückgewonnene und gespeicherte Energie genutzt wird (Anspruch 12), unterscheiden.

(27) Die richtige Strategie bei der Auswahl der Betriebsart in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Gesamtantriebs unterstützt die optimale Nutzung der zugeführten Energie und damit die angestrebte signifikante Verbesserung des Nutzwirkungsgrades gegenüber konventionellen Antrieben mit Verbrennungsmotor ohne Abgasenergierückgewinnung.

(28) Ein anschauliches Ausführungsbeispiel der Erfindung aus dem alltäglichen Bereich läßt sich an Hand eines entsprechend konzipierten PKW-Antriebs angeben. Ein PKW herkömmlicher Bauart mit einem Ottomotor als Antriebsquelle und Frontantrieb wird zusätzlich mit einem auf die Hinterräder wirkenden Elektroantrieb ausgerüstet.

(29) Für die Abgasenergierückgewinnung werden zwei für den oberen und mittleren Druckbereich ausgelegte Abgasturbogeneratoren an einer geeigneten Stelle im Abgaskanal in Reihe angeordnet. Besonders gut eignet sich für diesen Zweck ein Verbrennungsmotor, der einen möglichst hohen Anteil der gesamten Verlustenergie über die Abgase abführt und somit eine hohe Abgasaustrittstemperatur aufweist. Noch besser ist ein Motor mit mechanischer Aufladung geeignet, da in diesem Fall auch die Abgase eine entsprechende Aufladung erfahren.

(30) Die Drehstromsynchrongeneratoren sind mit permanent magnetisiertem Läufer ausgeführt. Im Hinblick auf die hohe Betriebsdrehzahl der Abgasturbine und der angestrebten kleinen Baugröße des gesamten Turbogeneratorsatzes ist diese Bauform besonders gut geeignet. Auch erhält man mit dieser Bauart hinsichtlich des elektrotechnischen Schaltungsaufwandes für die Übertragung der elektrischen Energie vom Generator zum Akkumulator eine übersichtliche und robuste Struktur. Die Leistungscharakteristik von Abgasturbine und

Generator sind aufeinander abgestimmt.

(31) Der Elektroantrieb umfaßt als wichtigste Komponenten zwei dreifachpolumschaltbare Asynchronmaschinen, die über eine einstufige Übersetzung jeweils eines der beiden Hinterräder antreiben, zwei Wechselrichter mit Pulsweitenmodulation und FET-Transistorausgangsstufen als Speisegeräte sowie die Akkumulatoren. Ein übergeordnetes elektronisches Steuerungssystem gewährleistet einen sicheren und weitgehend automatischen Betrieb des Hybridsystems mit Abgasenergierrückgewinnung. 5

(32) Auch bei den elektrotechnischen Komponenten stehen gewichts- und platzsparende Konstruktionsprinzipien mit im Vordergrund. Die Elektromotoren werden für hohe Drehzahlen ausgelegt, um ein günstiges Leistungsgewicht zu erzielen. Die dreifache Polumschaltbarkeit der Asynchronmotoren 10 15 20 25 ersetzt ein dreistufiges Getriebe einschließlich der Kupplung; bei der Verwendung zweier Antriebsmotoren entfällt das Differential. Die Bauart der Wechselrichter, welche hinsichtlich der Ausgangsstufen mit hoher Schaltfrequenz betrieben werden, erfüllt ebenfalls die angestrebten Kriterien. Die Kapazität der Akkumulatoren kann auf ein Minimum begrenzt werden, da ein Reichweitenproblem bei dem hier zur Anwendung kommenden Hybridantrieb nicht existiert.

(33) Die skizzierte technische Konzeption eines neuartigen PKW-Antriebs ist ein Beispiel für die Umsetzung der angegebenen Erfundung in die Praxis. Neben der wesentlich besseren Kraftstoffausnutzung bietet diese Technik vor allem dem einschlägig interessierten Fahrer eine neue "automobile" Perspektive. 30 35

(34) Bei zügiger Fahrt auf Autobahn oder Landstraße bietet sich der Parallelbetrieb mit Verbrennungs- und Elektromotor als Antriebsquellen an, wobei die aus den Abgasen rückgewonnene Energie unmittelbar genutzt wird. Im Hinblick auf einen bevorstehenden batterieelektrischen Betrieb ist eine zielgerichtete Aufladung der Akkumulatoren im Einzelbetrieb mit Verbrennungsmotor angezeigt. Der Einzelbetrieb mit Elektroantrieb eignet sich vor allem für den Stadtverkehr und das Weiterkommen im Stau. 40 45

(35) Die Einsparung bezüglich des Kraftstoffverbrauchs bei einem mit den skizzierten Konstruktionsmerkmalen ausgestatteten Personenkraftwagen, bei dessen Betrieb einerseits die richtige Strategie bei der Wahl der Betriebsarten eingehalten und andererseits die bei Elektrofahrzeugen übliche Bremsenergierrückgewinnung genutzt wird, liegt im Bereich von 50% gegenüber einem vergleichbaren aber ausschließlich mit Verbrennungsmotor ange- 50 55 triebenen Fahrzeug.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung des Gesamtwirkungsgrads beim Hybridantrieb mit Verbrennungs- und Elektromotor als Antriebsquellen durch Abgasenergierrückgewinnung mittels Abgasturbogenerator, wobei die beim Betrieb des Verbrennungsmotors anfallende Abgasenergie zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt wird, so daß ohne weitere Energiezufuhr ein zusätzliches Energiepotential zur Nutzung über den Elektroantrieb des 60 65

Hybridsystems zur Verfügung steht.

2. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Patentanspruch 1 mit je einem Abgasturbogenerator pro Abgaskanal, speziell zugeschnitten für die einstufige Ausführung als einfachste Form der Abgasenergierrückgewinnung.

3. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 1 mit je zwei in Reihe angeordneten Abgasturbogeneratoren pro Abgaskanal, speziell zugeschnitten für den oberen und mittleren Druckbereich zur besseren Nutzung des Abgasenergiepotentials.

4. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 1 mit je drei in Reihe angeordneten Abgasturbogeneratoren pro Abgaskanal, speziell zugeschnitten für den oberen, mittleren und unteren Druckbereich zur weiter verbesserten Nutzung des Abgasenergiepotentials.

5. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 1 mit mehr als drei in Reihe angeordneten Abgasturbogeneratoren pro Abgaskanal, zur weiteren Steigerung des Ausnutzungsgrads der Abgasenergie bis hin zur optimalen Nutzung.

6. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach den Ansprüchen 1–5, wobei der Abgasturbogenerator von einem Maschinensatz mit den beiden Komponenten Ab gasturbine und Generator beliebiger Bauart gebildet wird und die Wellenverbindung entweder direkt – beispielsweise über eine einheitliche gemeinsame Welle – oder indirekt mittels einer Übersetzung erfolgen kann.

7. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 6, wobei die Ausführung des Abgasturbogenerators durch die Verwendung eines Synchrongenerators mit permanent magnetisiertem Läufer gekennzeichnet ist.

8. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 6, wobei die Ausführung des Abgasturbogenerators durch die Verwendung eines Synchrongenerators mit geregeltem Läufer- bzw. Magnetisierungsstrom gekennzeichnet ist.

9. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 6, wobei die Ausführung des Abgasturbogenerators durch die Verwendung eines Asynchrongenerators mit geregeltem Ständerstrom gekennzeichnet ist.

10. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach den Ansprüchen 1–5, wobei die Umsetzung des Verfahrens in den praktischen Betrieb gekennzeichnet ist durch den Parallelbetrieb von Verbrennungsmotor und Elektroantrieb, indem die rückgewonnene Energie unmittelbar über den Elektromotor für den Gesamtantrieb genutzt oder auch der überschüssige Energieanteil in Akkumulatoren zwischengespeichert wird.

11. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch den Einzelbetrieb mit Verbrennungsmotor, indem die rückgewonnene Energie in Akkumulatoren zwischengespeichert wird.

12. Verfahren zur Wirkungsgradverbesserung nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch den Einzelbetrieb mit Elektroantrieb, indem die rückgewonnene und zwischengespeicherte Energie genutzt wird.

DERWENT-ACC-NO: 1997-352008

DERWENT-WEEK: 199733

COPYRIGHT 2004 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Improvement of overall efficiency of hybrid drive for automobile - using one or more synchronous generators per exhaust pipe driven by exhaust gases to power hybrid-drive motor or to charge battery

INVENTOR: DEPPE, V

PATENT-ASSIGNEE: DEPPE V[DEPPI]

PRIORITY-DATA: 1996DE-1000252 (January 5, 1996)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
DE 19600252 A1	July 10, 1997	N/A	004	B60K 006/02

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
DE 19600252A1	N/A	1996DE-1000252	January 5, 1996

INT-CL (IPC): B60K006/02, F01N005/00, F02B041/10

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 19600252A

BASIC-ABSTRACT:

A procedure for improving the overall efficiency of a hybrid drive arrangement using an IC engine and an electric motor requires using exhaust gas energy recovery (EGR) with an exhaust-driven generator and no additional energy input.

There are one, two, three or more generators per exhaust pipe. The simplest system uses just one generator. If more are used, each is for a different pressure range.

The generator shaft(s) may be directly connected or use gearboxes. They are synchronous generators with permanent magnet rotors, or with rotors having controlled magnetising current. Induction generators may also be used. The

energy recovered is passed directly to the motor of the hybrid drive, or to the battery.

ADVANTAGE - Achieves significant increase in overall efficiency.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.0/0

TITLE-TERMS: IMPROVE OVERALL EFFICIENCY HYBRID DRIVE AUTOMOBILE ONE MORE SYNCHRONOUS GENERATOR PER EXHAUST PIPE DRIVE EXHAUST GAS POWER HYBRID DRIVE MOTOR CHARGE BATTERY

DERWENT-CLASS: Q13 Q51 Q52 X21 X22

EPI-CODES: X21-A01D; X21-B01A1A; X22-F01A; X22-P04;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1997-291597